

A VÁROSI HŐSZIGETHATÁS MÉRSÉKLÉSE A PÁROLGÁS NÖVELESÉVEL

BÁDER László¹, UNGVÁRI Gábor²

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízgazdálkodási és Vízépítési Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem Rakpart 3. K épület / mf. 12., e-mail: laszlo.bader@edu.bme.hu

²Budapesti Corvinus Egyetem, Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont
1093 Budapest, Fővám tér 8. 117.1, e-mail: gabor.ungvari@uni-corvinus.hu

Kulcsszavak: városi hősziget, éghajlati energia, párolgás, aktív árnyék, passzív árnyék, hidrológiai ciklus

Összefoglalás: Az éghajlatváltozással, globális felmelegedéssel növekszik mind az épített, mind a természeti környezet hőterhelése. A sűrűn beépített területeken úgynevezett városi hősziget jelenség alakul ki. Munkánkban az alapvető fizikai folyamatok felől közelítjük meg a problémát, és inkább a kiváltó okokat, mint a következményeket vizsgáljuk. Emlékeztetünk a hőtani jellemzők fontosságára, hogy a víz melegítéskor a betonnál 5-ször több hőt képes felvenni, elpárolgásakor pedig még 2 nagyságrenddel többet. Egy nyári csapadékeseményt elemezve bemutatjuk, hogy a víz és annak párolgása különleges, semmivel nem pótolható energiaszállító szerepet tölt be a hőmérséklet-különbségek kiegyenlítésében. Az adatok és a hétköznapi tapasztalatok alapján javaslatot teszünk az aktív árnyék és a passzív árnyék fogalmak bevezetésére. Használatuk közérthetővé teheti, hogy miért lényeges a zöld területek (ligetek, lugasok, zöld tetők, parkok) megtartása és területük növelése a hősziget jelenség hatásainak mérsékléséhez. Tanulmányunk célja, hogy felhívja a figyelmet, az élhető környezeti viszonyok megtartásához mindenhol kiemelt figyelmet kell fordítani a vízkör (hidrológiai ciklus) kiegyensúlyozott működőképességének és hatékonyságának helyreállítására – belterületeken és külterületeken egyaránt.

Bevezetés

Az éghajlatváltozással, globális felmelegedéssel és a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribbá válásával növekszik mind az épített, mind a természeti környezet hőterhelése, amely jellemzően a nyári hőségnapokon lépi át azt a határt, amelyet már kellemetlennek érzünk. A városi hősziget jelenség néven ismert problémával kapcsolatban a leggyakrabban hallott fogalmak a beépítettség, a zöldterületek aránya, a felhasznált anyagok, az élettani hatások stb. Napközben a mesterséges felszín jobban felmelegszik, mint a környező természetes környezetet. A „felfűtött” területek (főként a beton, az aszfalt és más építőanyagok, cserepek, fémtetők stb.) az eltárolt hőt késleltetve, éjszaka sugározzák ki a domborzati- és térbeli elrendezéstől függően. A hősziget hatás ezért nappal és éjszaka egyaránt jelentkezik.

Jól mutatják a jelenség erősödésének lehetséges következményeit az előrejelzések. Szegeden például az évszázad végére többszörösére nőhet a trópusi éjszakák száma, egymást érhetik és állandósulhatnak nyáron (Unger és Gál 2017). A Föld lakosságának többsége már városokban él és ez az arány csak növekszik, Magyarországon is már 70% feletti a városban élők aránya (<http1>). Fel kell készülni arra, hogy a problémák

általánossá válnak, enyhítésükre megoldást kell találni, ha nem akarunk „megfőni” nyáron (http2).

A városi hőszigetek a környező külvárosi vagy vidéki területeknél melegebb „foltok” a tájban (angol elnevezésük alapján „UHI”-nak rövidítik – „Urban Heat Island”). Megkülönböztethetünk felszín alatti, felszíni és levegőben (2 m magasságban) mért hőszigeteket. Az átlagos levegőhőmérséklet-különbség a város méretétől, beépítettségétől függően néhány °C-tól akár 10 °C fölé is emelkedhet.



1a. ábra Délpest nappali hőkamerás felvétele a Gellérthegyről. A tetők és napsütötte homlokzatok hőmérséklete meghaladja az 50 °C-ot (Forrás: Gyulai 2016)

Figure 1a. Thermal photo of Southern Budapest from Gellért Hill during daytime. Temperature of roofs exceeds 50 °C (Source: Gyulai 2016)



1b. ábra Délpest éjszakai hőkamerás felvétele a Gellérthegyről. A tetők a kisugárzás miatt jelentősen lehűltek, 10 °C fok alá, de a függőleges felületek sok helyen még mindig 30 °C fok feletti hőmérsékletűek, a kisugárzás visszaverődései miatt nem tud a hő felfelé távozni (Forrás: Gyulai 2016)

Figure 1b. Thermal photo of Southern Budapest from the Gellért Hill during the night. Temperature of roofs decreased significantly through outward radiation, but vertical surfaces are still above 30 °C (Source: Gyulai 2016)

Hőkamerás felvételekkel jól bemutatható a hősziget jelenség. A beépített területeken a felhasznált anyagok az energia egy részét hővé alakítva visszasugározzák, egy részét pedig elnyelik, eltárolják, és a többlethőt csak késleltetve, a besugárzás gyengülése után, hosszúhullámú hősugárzás formájában tudják leadni. A hősziget hatás ezért nappal és éjszaka egyaránt jelentkezik. Nappal a beton, az aszfalt és más építőanyagok (cserepek, fémtető stb.) jobban vezetik vagy veszik fel a hőt, mint a természetes anyagok, ezért melegebbek (1a. ábra). Éjszaka a domborzati- és térbeli elrendezéstől függően kisebb a kisugárzás (Gyulai 2016). A háztetők előbb lehűlnek, mert felfelé „szabad az út” a kisugárzás számára, de a függőleges felületek a visszaverődések miatt lassabban hűlnek (a hő nem távozik, csak a környező tárgyakon szétszóródik). Jelentős felületek így még késő éjszaka is sokkal melegebbek lehetnek, mint a környezetük (1b. ábra). Ősztől tavaszig ez kedvező is lehet, például a fűtési napok számának csökkenését okozva, vagy ennek a jelenségnek köszönhetően több időt tölthetünk a szabadban – a városi terekben. Nyáron azonban egyre inkább gondot jelent a túlmelegedés, például a „hősnapok” – amikor a legmagasabb hőmérséklet meghaladja a 30 °C fokot (Unger és Gál 2017), és éjszaka is lassan hűl le a levegő, nehezebb a pihenés – számának emelkedésével jár.

Az építészeti megoldások és a zöldítési törekvések szükségességét teljes mértékben elfogadva, de azokon túlmutatva ebben az áttekintésben az alapvető fizikai folyamatok – a légköri és felszíni energiacsere – felől közelítjük meg a hősziget jelenség problémakörét. Felidézzük a víz és néhány városi környezetre jellemző anyag hőtani tulajdonságait. Nyári csapadékeseményeket és azok hatását vizsgáljuk, hogy a víz és párolgása milyen szerepet játszik a hősziget jelenség csillapításában. Megkíséreljük megbecsülni a kedvezőtlen körülmények mérsékléséhez szükséges víz mennyiségét, és javaslatot teszünk a vízkör (hidrológiai ciklus) kiegyensúlyozott működőképességének és hatékonyságának megőrzésére, amelyre belterületeken is szükség mutatkozik.

Anyag és módszer

Munkahipotézisünk szerint a hősziget kialakulása alapvetően a hőcserélő folyamatok megváltozásából vagy mesterséges megváltoztatásából következik (amikor a felszín változása emberi beavatkozás következménye pl. vízelvezetés, talajművelés, beépítés). A hőcserélő folyamat lényege, hogy a különböző hőmérsékletű anyagok a természetben a fizika törvényeit követve a hőmérséklet kiegyenlítésére törekszenek.

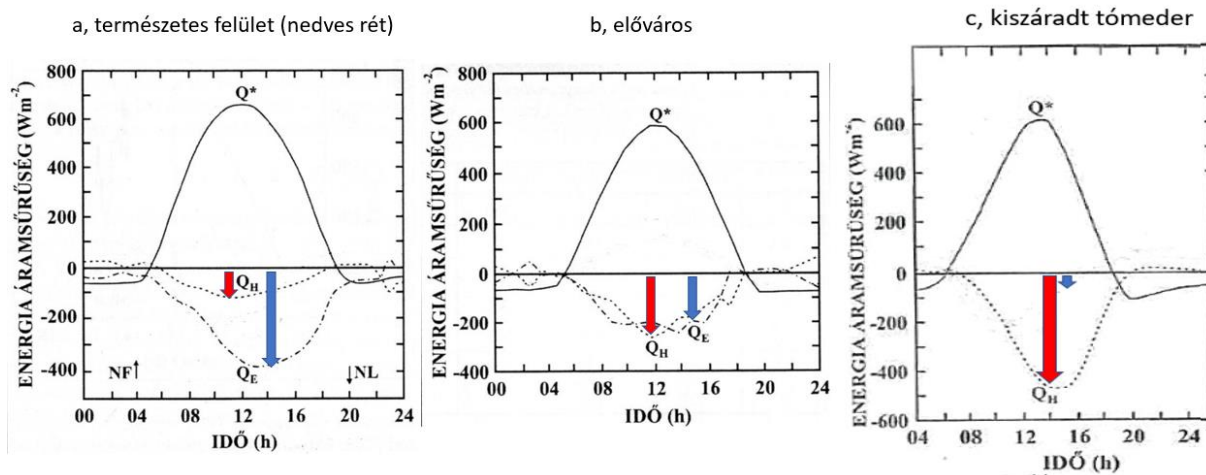
Ha a hősziget kialakulásának okát a természeteshez képest megváltozott éghajlati-energia elosztási folyamatokban keressük, akkor az azt befolyásoló főbb tényezők működését kell áttekintenünk először. A Föld felszínén és a légkörben kialakuló hőmérséklet különbségek „hajtják” a hőcsere folyamatot, ami az időjárási jelenségekben is testet ölt. A hőcserélő folyamatnak éves és napi ritmusa van, amely az évszakok és a napszakok változásaihoz kötődik, és a földrajzi elhelyezkedéstől is függ.

A kiegyenlítődés mértékét és sebességét alakító tényezők a városi hőszigetek kialakulásában is fontos szerepet játszanak:

1. A beérkező (nap)energia mennyisége (besugárzás – mennyi energiát kell elosztani);
2. A felszín anyagainak hőtani tulajdonságai (fajhő, hővezetés – milyen anyag hogyan képes a hő tárolására, vezetésére);
3. Az energiaforgalom főbb összetevőinek aránya, hőáramok a talaj és a légkör felé (kisugárzás, légmozgás, látens hőszállítás – mi, hogyan és merre viszi magával a hőt);
4. A hőszállítás hatékonyságát meghatározó víz rendelkezésre állása és a párolgás mértéke a hőcsere során (ha a víz párolgáskor halmazállapotot változtat, nagyságrendekkel hatékonyabb hőszállító közeg, mint a légmozgás vagy a víz melegedése-lehűlése önmagában).

Az energiaforgalom napi ritmusát a felszínborítástól függően az egyes hőáram összetevők alakulása adja meg. Jellegét tekintve két csoportra bonthatjuk az energiaforgalmat: a sugárzással terjedőre, és a hővezetéssel, hőszállítással kapcsolatos energiaátadásra, vagy „hőcsere”. Mindkét esetben van bevételi-, és kiadási oldal (http3). A Föld felszínéről nézve a légkör felől érkező energia a bevételi oldal, a légkör felé távozó a kiadási oldal. A Föld felszínét kívülről érő energia forrása a Napból beérkező rövidhullámú besugárzás (túlnyomóan a látható fény 0,4–0,7 μm hullámhossz tartományában), amelynek a felszínre elérése teljesítménye Magyarországon egy felhőmentes nyári napon délidőben jellemzően a 600 W/m^2 -t is eléri. Ennek egy része rövidhullámú sugárzás formájában visszaverődik a világűrbe (albedo), másik része a felszínen elnyelt rövidhullámú sugárzás, ami hővé alakulva vesz részt a további energiacsere folyamatokban.

A nettó besugárzásból (Q^*) származó energia elosztását „végző” hőáramok alakulását mutatja be a 2. ábra. A felszín teljes sugárzási mérlegét Q^* jelöli (Unger és Sümeghy 2012). Az energiátöbblet általában a déli órákban a legnagyobb, amikor a Nap delel, így az energiakiegyenlítésben részt vevő két legnagyobb tag, az érezhető hőáram, Q_H és a rejtett hőáram Q_E (látens hő) értéke is ekkor a legnagyobb (Q_H a légkör alsó rétegét melegíti, Q_E pedig „észrevétlenül” a párolgással távozik). Ha van elegendő víz a tájban (akár vízfelszín, akár nedves terület vagy párologtató növényzet formájában), akkor a Q_E szerepe meghatározó a hőcsere folyamatban és a talaj melegítése, és a tárolt hő elhanyagolható. Ahogy egyre kevesebb a természetes felület, a párologtató növényzet vagy vízfelszín, úgy nő a „helyben maradó” hő aránya (Q_H).



2. ábra A természetes hőcsere folyamat főbb összetevői, és tipikus napi menetük. Jelölések, Q^* : teljes sugárzási mérleg, Q_H : érzékelhető hő, Q_E : rejtett (látens hő). A pozitív értékek a felszínre beérkező energiaáramot jelzik, a negatív értékek a felszínről távozó energiaáramokat. Balról jobbra a rejtett hőáram (kék) csökken az érzékelhető hőhöz (piros) képest. A városok görbéi a harmadik típus felé közelítenek (Unger és Sümeghy 2012 ábrái alapján összeállították a szerzők)

Figure 2. Daily run and components of the heat transfer process. Q^* : net radiation, Q_H : sensible heat, Q_E : latent heat. Positive amount shows incoming energy to the surface, negative amounts represent outgoing energy. The ratio of latent heat (blue arrow) is decreasing from left to right compared to sensible heat (red arrow). Left: natural surface, Middle: suburb. Right: dry land, desert (based on graphs from Unger and Sümeghy 2012)

Jó vízellátottságú, természetes felületen a rejtett hőáram a meghatározó (Q_E), elővárosokban már azonos nagyságrendű az érzhető és rejtett hőszállítás szerepe, a fátlan, burkolt vagy beépített területek hőforgalma pedig még jobban átalakul. A beépítettségel egyre nő az érzhető hő aránya és szorul vissza a rejtett (látens) hőszállítás – a felszín melegedését okozva. (Megjegyzés: a 2. ábrán egy tipikus nyári nap hőforgalmát három különböző mérsékelt övi területen készült ábrán mutattuk be ugyan, de a nettó energiamérlegük (Q^*) lefutása hasonló, így a felszínborítástól függő jellemző nyári napi energiamenetet és azok eltérését jól érzékeltetik.)

Szélsőséges körülmények között szinte a teljes hőmennyiség a talaj (felszín) és a felette lévő légréteg melegedését okozza, mint a sivatagok esetében. Az egy átlagos nagyváros hőcsere folyamatát leíró görbék valahol az elővárosi állapot felől közelítenek a kiszáradt tómedret, sivatagot, kopárokat jellemző jobb oldali ábrán bemutatott görbék felé, érzékeltetve, hogy a rejtett hőáram csökkenése milyen súlyos következményekkel jár. A hő legnagyobb része „helyben marad”, ráadásul a felmelegedett felszínnek a városi környezetben lassabban hűlnek ki az úgynevezett hőcsapda jelenség (visszaverődések) miatt.

A Föld energiamérlegében éves átlagban a rejtett (látens) hő mintegy háromszorosa az érzékelhető hő mennyiségének (Lecuyer et al. 2015). Két dolog miatt azonban a városi területeken jelentős eltérés van ebben az arányban és azoknak az összetevőknek a nagyságában, amellyel a hősziget jelenséggel kapcsolatban számolnunk kell. Egyrészt nem indulhatunk ki a globális átlagokból, hanem az adott helyen és időben, a napi csúcshőmérséklet idején fennálló értékeket kell figyelembe vennünk, másrészt

a városias területeken a felszínborítás változásai miatt a hőcsere folyamatok körülményei eltérnek az átlagos körülményektől. Ennek következményeként egyrészt a forró nyári napokon az átlagnál jóval nagyobb értékekről beszélhetünk, másrészt a „helyben maradó” érzékelhető hő többszöröse lehet a párolgással távozó rejtett hőnek. Azaz a városiasodott területeken a beépítettség miatt megfordul a rejtett (látens) hő és az érzékelhető hő aránya.

A rejtett hőáram szerepének megértéséhez tekintsük át azokat a fizikai tényezőket, amelyek bemutatják annak működését és feltárják jelentőségét. Az energiaforgalmat jellemző egyik fontos tényező a részt vevő anyagok hőtani tulajdonsága, a másik a párolgás szerepe a hőcsere folyamatában. A Földön gyakran előforduló anyagok közül a víznek a legmagasabb a fajhője, ezért önmagában is jó hőtároló anyag. Ha 1 kg vizet melegítünk, az lassabban melegszik fel, mint például ugyanennyi beton. 4,2 kJ energia hatására 1 kg víz 1 °C fokkal melegszik, de 1 kg beton 5 °C fokkal. A hőszigetelés kialakulásának egyik oka az eltérő fajhő (víz: 4,2 kJ/Kg°C, beton: 0,88 kJ/Kg°C). Ugyanolyan hőmennyiség hatására a beton mintegy 5-ször annyira melegszik fel, mint egy nedves felület.

Van azonban a fajhő esetében jelentkező különbségnél nagyságrendekkel fontosabb hőtani tulajdonsága is a víznek, amelyet nem lehet elégszer hangsúlyozni: a párolgáshoz szükséges hatalmas energia, amelynek értéke 1 kg 20 °C fokos víz elpárolgása esetén 2480 kJ/kg. A felszíni hőcserélő folyamatokban a víz halmazállapot-változás közben (párolgáskor) óriási mennyiségű energiát vesz fel vagy ad le (kicsapódáskor). Az energiaszállítás hatékonyságában a halmazállapot megváltozásának kulcsszerepe van, ami semmi mással nem helyettesíthető. Összegezve a felsorolt hőtani tulajdonságokat (http4):

Beton, aszfalt: fajhő: 0,88 kJ/Kg°C

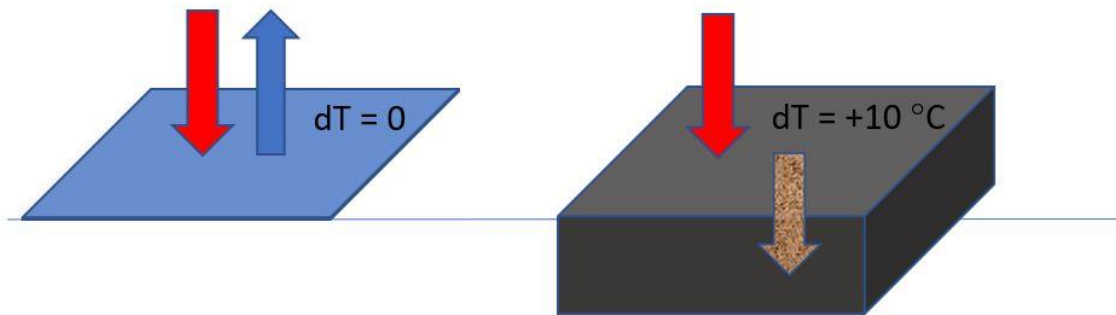
Víz: fajhő: 4,20 kJ/Kg°C, párolgáshő: 2 480 kJ/kg (20 °C-on)

A városban a beépítettség miatt legtöbbször szárazok a burkolt felületek, és ha esik is az eső, annak egy része gyorsan elfolyik és a szükséges időszakban nem tudja kifejteni hűtő hatását. Ezért párolgó felülettel jelenleg leginkább a zöld területek párologtatásakor számolhatunk.

Ha 1 liter vizet (1 kg) szétöntünk 1 m²-en (ez 1 mm vízfátyol a felületen szétterítve), majd hagyjuk elpárologni, a vízpára 2480 kJ energiát „vesz fel és visz magával”. Ha ez az energia nem távozna, akkor helyben egy tartályban 590 kg vizet lenne képes felmelegíteni 1 °C fokkal (2480/4,2=590)! Ha a felület beton (vagy aszfalt) lenne, akkor abból a 2480 kJ energia 2818 kg-ot tudna felmelegíteni 1 °C fokkal, vagy 282 kg betont 10 °C fokkal (3. ábra). A száraz beton fajsúlyát 1,7 kg/dm³-nek számolva ez 16,6 cm vastag betonréteg 1 m²-en! A felmelegedés ellen tehát a megoldás kulcsa a párolgás vagy párologtatás növelése.

2 480 kJ energia 1 m²-en:
1 mm víz párologtat el
 (a felület nem melegszik)

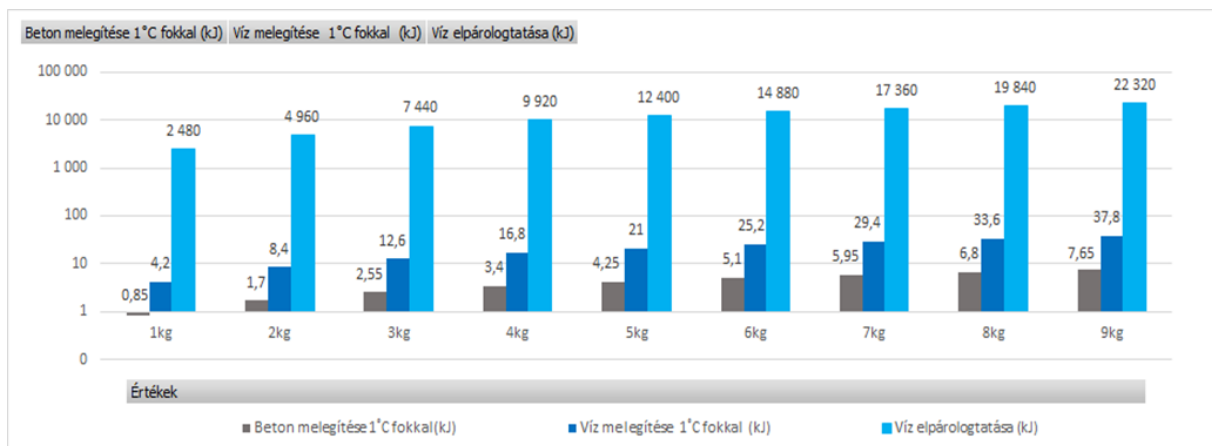
2 480 kJ energia 1 m²-en:
288 kg betont melegít fel **10 °C**-al
 (az energia helyben marad)



3. ábra A víz és beton hőtani tulajdonságai: 1 m² nedves felületről 1 mm víz elpárolgása (1 kg) annyi hőt képes elszállítani, ami 288 kg betont melegítene fel 10 °C-kal, ez 1 m²-en 16,6 cm vastag betonréteget jelent (a szerzők ábrája)

Figure 3. Comparing heat properties of water and concrete: evaporating a 1 mm water layer from 1m² (1 kg) 'picks up' so much energy that would warm up 288 kg of concrete by 10 °C. This is equivalent to 16,6 cm thick concrete on 1 m²

Másképpen fogalmazva 1 m²-en 1 mm vízréteg elpárolgása 16,6 cm vastag betonréteg 10 °C fokos felmelegedését akadályozza meg! Gyakorlati tapasztalatból tudjuk, hogy a felforrósodott burkolat locsolása enyhülést hoz.



4. ábra A víz és beton 1 °C fokos melegítéséhez szükséges energia összehasonlítva ugyanannyi víz elpárolgatásához szükséges energiával. A függőleges tengelyen az értékek (kJ) logaritmikus skálán, a vízszintes tengelyen az anyagmennyiség kg-ban. A halmazállapot változás kulcsszerepet játszik a hőszállításban (a szerzők ábrája)

Figure 4. Comparing the energy (vertical axis) needed to warm up water or concrete by 1 °C to the energy needed to evaporate the same amount of water (horizontal axis). Change of phase is key in the heat transfer capability

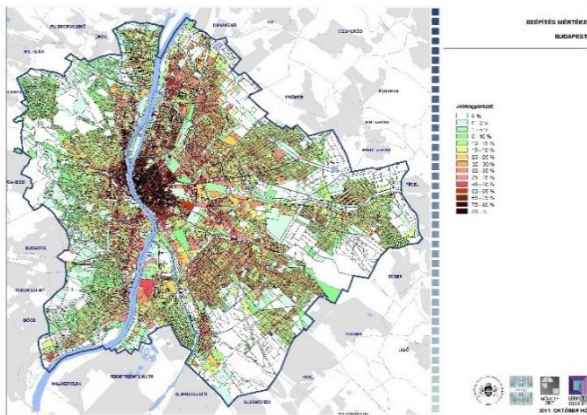
Ha grafikonon ábrázoljuk a melegítéshez, illetve a párolgáshoz szükséges fajhő- és párolgáshő adatokat (4. ábra), akkor a párolgás energiafelvételének hatékonysága szembetűnő, csak logaritmikus skálán tudjuk ábrázolni a nagyságrendi különbséget!

Eredmények

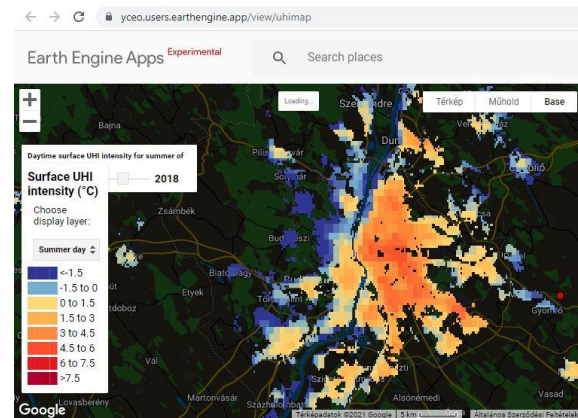
Az energiaforgalom működésének áttekintése után már jobban meg tudjuk ítélni milyen nagyságrendű energiákról van szó a hőcserélő folyamatban. Ha 600 W/m^2 nettó besugárzási teljesítményből indulunk ki, amely nyáron, a déli órákban jellemző érték Közép-Európában (Hurina és Pokorný 2016), ez 3 km^2 -re számolva $600 \text{ W/m}^2 \times 3 \times 1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$, azaz $1,8 \text{ GW}$ teljesítményt jelent – ez a Paksi Atomerőmű teljesítményével összemérhető (http5). Hasonló nagyságrendet tükröző eredményre jutottak korábban a táj hőforgalmát vizsgálva cseh kutatók is (Eiseltová et al. 2012). A hőcserélő folyamat vizsgálata után levonható megállapítások:

- A legfontosabb különbség a természetes és mesterséges felszínek hőháztartásában nem a felszínek anyagában vagy színében keresendő, hanem az energiaátadó, hőcserélő folyamatok működésében, a hőszállítást végző összetevők arányának megváltozásában.
- A víz, mint hőcserélő folyadék nélkülözhetetlen szerepet játszik a hőkiegyenlítésben, és a folyamat hatékonyságának a kulcsa a párologáskor történő halmazállapotváltozás.
- A párologás történhet közvetlen a felszínről, vagy a növényzet párologtatásával, mindkettő alkalmas jelentős mennyiségű hőt elvonni a környezetből.

A városi területek szerkezetét és beépítettségét vizsgálva láthatóvá válik az összefüggés a korlátozott párologtatásra képes területek elhelyezkedése és a hőszigetek kialakulása között. Budapest beépítettségének térképét (http6 Budapest 2030) összehasonlítva a műholdról mért felszíni hőmérséklet térképével (http7 Earth Engine Apps) hasonló mintázatot kapunk (5a. és 5b. ábra). Fontos azonban megjegyezni, hogy a jelenség nem korlátozódik a városokra, mindenhol ugyanazok a folyamatok ismerhetők fel, ahol burkolt mesterséges felszínek kerültek kialakításra (utak, autópályák, parkolók, lebetonozott telephelyek stb.).

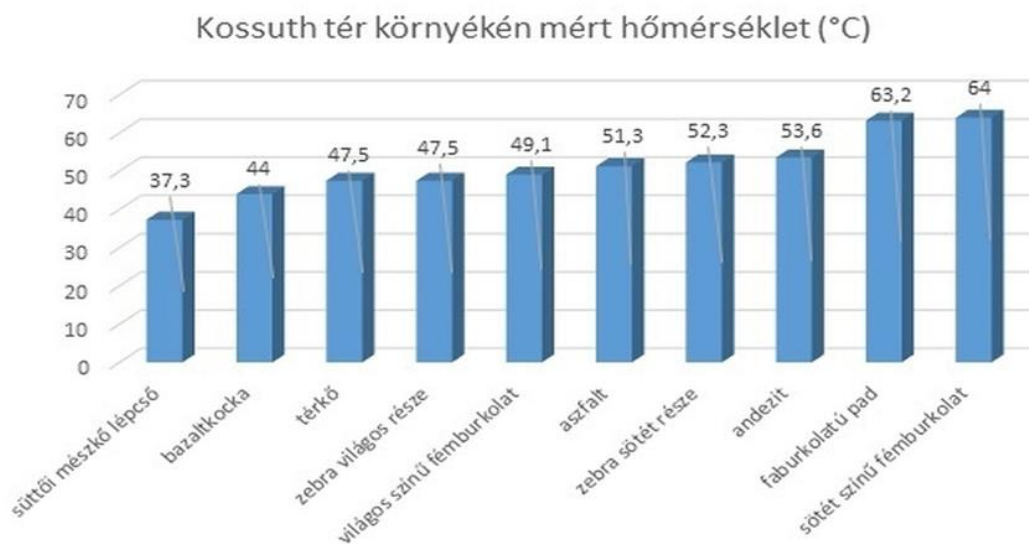


5a. ábra Budapest beépítettsége (Forrás: <http6> Budapest 2030). A sűrűn beépített területek elhelyezkedése megegyezik a magasabb átlaghőmérsékletű területekével
 Figure 5b. Built in status of Budapest (Source: Regional Development Concept for Budapest)



5b. ábra Budapest felszíni hősziget térképe 2018-ban, MODIS műholdas felszínhőmérséklet alapján (Forrás: <http7> Earth Engine Apps webes alkalmazás)
 Figure 5b. Heat island map of Budapest (Source: <http7> Earth Engine Apps)

A felszíni hőmérsékletet infrahőmérővel akár közvetlenül is meg tudjuk mérni (<http8>, Kamondy 2019), amely segít a beépítettség és burkolattípusok szerinti értékelésben. A benapozott burkolt felületek hőmérséklete a felhasznált anyag minőségétől is függ (6. ábra). A megfelelő anyagok felhasználásával csökkenthetjük a hőmérsékleti szélsőségekből adódó hőstresszt, vagy akár az égési sérülések bekövetkezésének kockázatát.



6. ábra A városi térburkolatok felmelegedése egy tipikus nyári napon (Forrás: <http8>, Kamondy T. Építészforum 2019.06.27)
 Figure 6. Surface temperature of various building materials on a typical summer day (<http8>, Kamondy 2019)

A forró nyári hónapokban a Nap sugaraitól való védelem legegyszerűbb módja az árnyékolás, amelyet hagyományosan sok helyen alkalmaznak (redőny, zsalugáter, napfénytető stb.). Ha egy burkolt felületet vagy épületrészt nem ér közvetlenül napfény, akkor kevésbé melegszik fel, a felszín védeni lehet a túlzott felmelegedéstől.

A párolgás lehetősége vagy hiánya azonban alapvetően megváltoztatja a hőség ellen árnyékolással történő védekezés hatékonyságát. Ha egy mesterséges felülettel árnyékolunk, az véd a közvetlen napfény ellen (és az eső ellen is), de a hő helyben marad. Ha bármilyen növény árnyékol, az nem csak a fény ellen véd, de a párologtatásával rendkívül hatékonyan hűt is (Hurina és Pokorny 2016), mivel a párolgással elvont hőmennyiség távozik a vízpárával. Indokolt lenne megkülönböztetni passzív és aktív árnyékot, mert bár minden árnyék fontos védelem a felszín felmelegedése ellen, de hatékonyságukban óriási különbség van.

Passzív árnyékolásnak nevezhetjük azt, ahol a felületet megvédjük a besugárzástól, mint sátor vagy redőny esetében. Passzív árnyékolással csökkenthetjük a felületet közvetlenül elérő energia mennyiségét, ezáltal a szélsőséges felületi hőmérsékletek kialakulását. Az energia azonban a felszín közelében marad és itt fejt ki melegítő hatását, így a hőcserélő folyamatok hatékonyságát a passzív árnyékolás nem befolyásolja jelentősen.

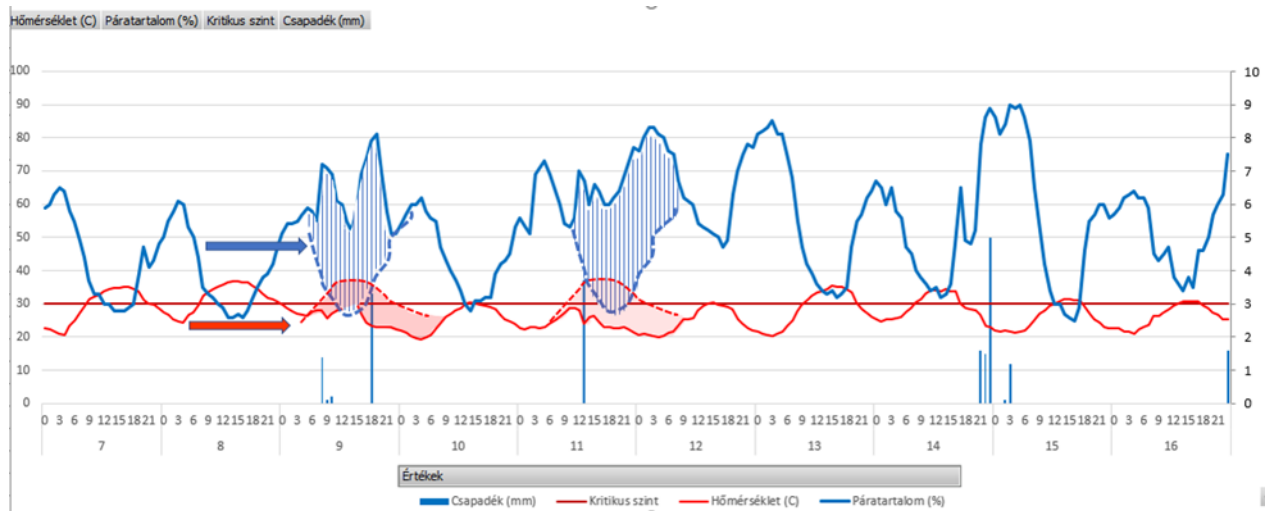
Aktív árnyékolásnak nevezhetjük azt, amikor növényzet nyújt árnyékot, de a környezeti hőmérséklettől, páratartalomtól és légmozgástól függő mértékben közben párologtat is. Aktív árnyékolás esetén a víz halmazállapotváltozása, azaz elpárolgása jelentős hőt igényel, ezt a növény a környezetéből vonja el és „távolítja el” a felszínről. Lombhullató növényzet esetén a legjobb árnyékolás a nyári hónapokra alakul ki, hiszen ekkorra már kifejlődik a lombzat. A párologtatás mértéke igyekszik lépést tartani a hőmérséklet növekedésével, ha rendelkezésre áll elegendő mennyiségű víz. A passzív és aktív árnyék hűtő hatásának különbségét komfortérzetünk jól jelzi. Napközben forró napsütésben kellemesebb egy fa alatt ülni, mint egy napernyő alatt tartózkodni. Este pedig hamarabb lehet ablakot nyitni egy növényzettel borított kert, udvar vagy park közelében, mint egy átforrósodott burkolatú tér vagy fal közelében. Összefoglalva a burkolat anyagával és az árnyékolás módjával kapcsolatos legfontosabb szempontokat, amelyeket figyelembe kell venni:

- A beépített területeken a mesterséges felszínnek fajhője kicsi, ezért erősen felmelegednek, jobban, mint a természetes felszínnek, ahol a víz és párolgás hőkiegyenlítő hatása jobban érvényesül. A burkoló anyag megválasztása hatással van a felszíni hőmérsékletre, de a hő nagy része helyben marad, ha nincs párolgás.
- Passzív árnyékolással (mesterséges akadályt állítva a napfény útjába) a benapozott felszín felmelegedése korlátozható, azonban ez az árnyékolási mód nem befolyásolja jelentősen a környezet felmelegedését.
- Aktív árnyékolással (ahol párologtató növényzet nyújtja az árnyékot) vagy párolgó vízfelülettel javítható a hőcsere-folyamat hatékonysága, mert párolgáskor a víz halmazállapot változás közben óriási hőmennyiséget képes felvenni és rejtett hőáram formájában elszállítani a felszínről.

Az áttekintett fizikai tulajdonságok (a víz és a beton hőtani adatai stb.), és a felszín energiaki egyenlítő folyamatainak áttekintése után nézzük meg egy tényleges példán, hogy „hogyan működik a rendszer”? A 2021-es év nyara bővelkedett forró napokban. Júliusban Budapesten belterületen a hőmérséklet gyakran meghaladta a 30 °C-ot, egymást érték a hőségnapok. A 7. ábrán néhány nap hőmérsékletének és relatív páratartalmának alakulását figyelhetjük meg. Az adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat II. kerületi automata mérőállomása rögzítette ([http9 OMSZ](http://9 OMSZ)). Ezen a példán keresztül mutatjuk be a különbséget egy száraz és egy esős nap hőcsere-folyamatainak működése között. A fizikai tényezők (fajhő, párolgáshő, besugárzás energiája) és a földfelszíni hőkiegyenlítő folyamatok jelentősége így jobban tetten érhető. Fontos azonban megjegyezni, hogy a borult égbolt (besugárzás változása), szél, és más tényezők is hatással vannak az energiaforgalomra, amelyre itt nem térünk ki, azonban amelynek hatása további vizsgálatokat igényel. A kiválasztott időpont abból a szempontból egyedi, hogy a csapadékesemények pont akkor következtek be, amikor a párolgatás víz jelenléte esetén fontos szerepet játszana a mikroklímában. Így a példában, nagyságrendi szempontból el lehet tekinteni attól, hogy a felszíni lefolyás, a beszívargás, mint a víz időzírtési, rendelkezésre állási problémájaként jelentkezik és nagyban megbonyolítaná a folyamatok átláthatóságát.

Július 7. és 8. száraz meleg napok voltak. Július 8. már tipikus trópusi nap 36,6 °C maximális hőmérséklettel. A relatív páratartalom 26%-ra csökkent, ez már súlyos légköri aszályt (a páratartalom 30% alá csökken) jelent. A következő napon, 9-én végre csapadék érkezett, délelőtt esett 1,7 mm csapadék, amelynek a hatására megtorpant a felmelegedés. Szaggatott ív jelzi a 7. ábrán, hogy várhatóan hogyan alakult volna a hőmérséklet és a páratartalom, ha nem érkezett volna meg a csapadék. A reggeli eső után megtorpant a páratartalom csökkenése, aznap nem süllyedt 50% alá, és a hőmérséklet sem emelkedett 30 °C fölé. Az előző napi mintázattól való eltérést a késsel és pirossal bejelölt területek jelzik.

A rákövetkező napon, 10-én már ismét a megelőző napokhoz (7. és 8.) hasonlóan alakult a hőmérséklet és a páratartalom napi menete, de már átlépte a kritikus határt (a hőmérséklet ismét 30 °C fölé kúszott, a relatív páratartalom pedig 30% alá esett). Kialakult a légköri aszály. Július 11-én a déli órákban ismét esett 3,7 mm eső, ami a két nappal korábbiakhoz hasonlóan elegendő volt ahhoz, hogy a hőmérséklet és a páratartalom ezen a napon se lépje át a küszöbértéket (30 °C, illetve 30%). Egy nappal később, 12-én fokozatosan emelkedett a hőmérséklet és kialakult az esős napok előtti mintázat. 13-án és 14-én ismét hőségnapok következtek. Enyhített ezen a 14-én éjjel lehullott 9,4 mm eső, de a nagyobb csapadékmennyiség ellenére a következő napok hőmérséklet- és páratartalom-mintázatán nem változtatott annyit, mint a 9-én napközben érkezett kevesebb eső – a csapadék jelentős része vélhetően elfolyt, és a párolgás hűtő hatása is kevésbé érvényesült éjszaka.



7. ábra Egy budapesti belterületi automata meteorológia mérőállomás adatai 2021. július 7. és 16. között (Budapest II. Kerület). A hőmérséklet (°C – piros) és a relatív páratartalom (% – kék) skálaértékei a bal oldalon. A 30-as értéken a piros egyenes egyszerre jelöli a forró napok és a légköri aszály határvonalát. A csapadéértékeket kék oszlopok mutatják mm-ben (jobboldali skála).

A szerzők ábrája. Adatok forrása: Országos Meteorológiai Szolgálat

Figure 7. Meteorological data from 07 Jul to 16 Jul 2021 in Budapest, distr. II. Values for air temperature (°C – red) and relative humidity (% – blue) are on the left axis. The red line at 30 indicates the threshold for torpid days and draught. Precipitation in mm on the right axis.

By the authors, data from National Meteorological Service (OMSz)

Érdeemes tudatosítani, hogy a bemutatott összefüggések alapján az 1 mm – azaz 1 m²-re 1 liter – ideális időpontban leesett csapadék teljes elpárolgásához szükséges energiaigény egy átlagos nyári napon a felszín 1 m²-ét elérő energiamennyiség nagyságrendileg 20–25%-a.

Megvitatás

A városi hőszigetelés egy lényeges, de keveset hangsúlyozott okának a hőszállítási folyamatok megváltozása, megváltoztatása látszik. A városi területek és a természetes felszínek éghajlati energiaforgalmának és azok elemeinek összehasonlítása vezethet el bennünket a hőszigetek működésének megértéséhez. A „Föld hőcserélő rendszerében” a víz a hűtőfolyadék szerepét tölti be. Ha melegszik az idő, a víz párolgása (akár közvetlenül a felszínről, akár a növényzet által) hőmérséklet szabályzó szerepet tölt be. Kiemelkedő jelentőségű a szárazföldi energiaszállítás szempontjából az, hogy párolgáskor a víz halmazállapotot változtat, mert ezzel nagyságrendekkel hatékonyabban hűti a felszínt. Ahol a víz mennyisége korlátozott, ott a párolgás és vele együtt a hőszállítás hatékonysága csökken, ami hozzájárul a nagyméretű „hőszigetek” kialakulásához. A jelenség már nem csak városokra, hanem nagyobb területekre is értelmezhető, ahol „táji hőszigetekről” beszélhetünk (Báder 2021). A megoldás kulcsa az, hogy a hősziget jelenség korlátozásának alapfeltétele a természetes hőcserélő folyamatok megértése, működőképességük javítása és megőrzése lehet. Az építészeti megoldások mellett (burkolat anyagának, színének megválasztása stb.) tehát szükség

van a párolgás–párologtatás segítésére, és az ahhoz szükséges vízmennyiség folyamatos biztosítására, elsősorban a kritikus nyári hónapokban. A légkondicionáló berendezések elterjedése erősíti a hőszigetelést, mert befelé ugyan hűtenek, de kifelé fűtenek.

A városi hősziget jelenség kialakulásának és jellemzőinek vizsgálata mellett további kutatások látszanak szükségesnek az okok és az ok–okozat összefüggések feltárása területén. A kánikulai napok csapadékeseményeinek vizsgálata, azok hatásának értékelése, a teljes éghajlati energiaforgalom részletesebb elemzése (a besugárzás és a felhősödés változásának, illetve a szélnek a hatása, a lefolyási viszonyok, a mikrodomborzat szerepe stb.) segítséget nyújthat ahhoz, hogy a hiányzó párolgás mértékét pontosabban meg tudjuk ítélni. Ennek ismeretében tudunk hatékony intézkedéseket hozni a hőszigetek hatásainak mérsékléséhez, városaink élhetőségének javításához.

Azt a kérdést, hogy mikor és mennyi vízre van szükség a városi hőszigettel érintett területeken a jelenség mérséklésére, többféle módon közelíthetjük meg – és ezek eltérő eredményre vezethetnek. A különbség abból adódhat, hogy milyen adatokból indulunk ki (átlagok vagy szélső értékek, különböző vizsgált időszakok stb.) és hogy milyen időszakban és mekkora területen szeretnénk beavatkozni, illetve javítani a mikroklímát. Fontos előre bocsátani, ez nem jelent ellentmondást abban, hogy lényeges és gyors változásra van szükség ahhoz, hogy városaink nyáron is élhetőek maradjanak. Nézzünk meg néhány példát: a Tisza-tó 8–10 mm vizet is elpárologtat egyetlen meleg nyári nap alatt ([http10](http://10)). Az erdők párologtatása szintén elérheti a napi 10 mm-t (Gribovszky 2004). Feltételezhetjük, hogy a melegebb városi területekről is el tudna ennyi párolgni, ha rendelkezésre állna hozzá a víz. Hamar belátható, hogy egy–két forró hét alatt akár 100 mm is lehet a hiányzó párolgás, a párologtatási képesség. Több nyári hóhullámmal számolva már jelentős mennyiségű párolgáshiányról, helyben maradó és gondot okozó energiátöbbletről van szó. Ennek a csillapítására tehát jelentős mennyiségű vízre lehet szükség.

Mivel a nyári meleg hónapok a kritikusak a hősziget jelenség szempontjából, érdemes a nyári időszakban szükséges csapadékmennyiségekből kiindulni. A 7. ábrán bemutatott csapadékesemény alatt Budapesten a reggeli órákban 1,7 mm csapadék esett, amelynek a hatása már jól látszik a hőmérséklet és a páratartalom napi alakulásában. Vegyünk csak kerek 1 mm csapadékot alapegységnek, tételezzük fel, hogy ez mind elpárolog, majd vizsgáljuk meg ez mekkora vízmennyiséget jelent, és a párolgás mennyi energiát „szállít el” a felszínről (1 liter víz párolgásához 2 480 kJ, azaz kerekítve 2,5 MJ energia, más mértékegységre átváltva 0,7 kWh energia szükséges). A terület méretéből adódik a párolgással „szolgáltatott” természetes hűtőhatás, amely mindenhol működik, ahol elérhető a víz. Az 1. táblázat érzékelteti, hogy a folyamatban milyen hatalmas energiák vesznek részt – ha feltételezzük, hogy ez az 1 mm víz mindenütt 1 óra alatt elpárolog, akkor ez 700 W/m² hűtő-teljesítményt jelent. 2021 júliusában a nettó besugárzás napi átlagos egyenértéke vízmilliméterben 5 mm körül mozgott – a nettó besugárzás energiájának elpárologtatható víz mennyiségre történő átszámítását a szerzők végezték az ECMWF meteorológiai adatbázis adatai alapján.

Tehát ha abból indulunk ki, hogy 1 mm párologtatásához biztosítjuk a vizet, akkor is csak a beérkezett energiátöbblet mintegy 20%-ával számoltunk. Hőségnapokon ezért feltételezhetjük, hogy egyszeri, 1 mm vízpótlás nem elegendő, többször is szükség lehet locsolásra, vagy a párologtathoz szükséges víz valamilyen módon történő pótlására. A táblázat soraiban a terület nagysága szerepel példaképpen, érzékeltetve azt a hatást, amelyet a párologtathoz képes (lenne) kifejteni „elegendő” mennyiségű víz rendelkezésre állása esetén.

1. táblázat A természetes energiaátadási folyamat (hőcsere) nagyságrendjének érzékeltetése hőségnapokon: egy milliméter csapadék elpárologtatásának hűtő hatása az érintett terület függvényében, feltételezve, hogy mindenhol egyformán 1mm víz párolog el. A felület méretéből számolható a vízmennyiség és a párologtatással elszállított hőmennyiség

Table 1. Demonstrating the magnitude of energy in the natural heat distributing process by showing the energy needed to evaporate 1mm of water on the surfaces shown in the table rows

Terület (1 mm víz egyenletesen elosztva)	Vízmennyiség a terület függvényében	Felvett hőmennyiség	A párologtatással elszállított hőenergia kWh-ban
1 m ²	1 liter	2,5 MJ	0,7 kWh
1 ha (10 000 m ²)	10 000 liter (10 m ³)	25 GJ	7 000 kWh (7 MWh)
1 km ² (100 ha)	1 000 000 liter (1000 m ³)	2,5 TJ	700 000 kWh (700 MWh)
100 km ²	100 000 000 liter (100000 m ³)	250 TJ	70 000 000 kWh (700 GWh)

Soknak tűnhet első ránézésre a vízigény, de Budapest teljes területére számolva még legkisebb vízhozam esetén is néhány perc alatt lefolyik ekkora mennyiség (http11 OVF 2020). Meg kell szoknunk, hogy mindig a szóban forgó terület nagyságának megfelelő léptékekben gondolkodjunk.

Ha mesterségesen akarjuk pótolni a párologtatást, ahhoz elsősorban a vizet kell biztosítanunk. A párologtatás sokféleképpen történhet: locsolással, porlasztással, lapos párologtatókádák kihelyezésével, tetőkertről, zöld falról, a területet lefedő fás ligettel (épületek, parkolók árnyékolása fásítással) stb. Gyakorlati irányba elmozdulva a fő kérdés az, hogy hogyan biztosítsuk egy városban – a felület arányt is figyelembe véve – a párologtathoz a vizet? A csapadékvíz megtartásának fontossága már közismert (Bíró 2019). A párologtathoz szükséges vizet célszerű elsősorban a meglévő lehetőségekből kiindulva biztosítani, majd saját gyakorlati tapasztalatok és más hazai és külföldi példák alapján fejleszteni. Lehetséges megoldástípusok:

- csapadékvíz felhasználása, nyitott tárolás, odavezetés (vagy a beszivárgás segítése, felhasználás a növényzeten keresztül);
- csapadékvíz felhasználása, föld alatti épített tározókból;
- vízpótló rendszer kiépítése, odavezetés felszíni vizekből;
- vízpótlás a meglévő közművekből (de az értékesebb vízkészletek rovására megy).

A lehetőségeket a helyi adottságok és elérhető vízforrások határozzák meg. A szükséges vízmennyiség ismeretében a következő feladat a természetes folyamatok mintájára történő működtetés megszervezése. Hogyan segítsük a párologtatást? Az

útmutatók, mintaprogramok gyarapodnak a fővárosban és országszerte (Almási és Csizmadia 2016, Csizmadia 2018), de az érzékelhető változás eléréséhez általánosság kell, hogy váljon a szemlélet. Óriási feladatnak tűnhet a bemutatott adatok alapján, azonban társadalmi méretekben gondolkodva ez a hosszútávú megoldás, a legjobb befektetés a jövőbe (Ungvári és Kis 2019). A munka több részre osztható a tervezéstől, a szabályozástól a megvalósításig és a szemléletformálásig:

- A párolgáshoz szükséges víz biztosítása: előnyben részesítve a csapadékvíz megőrzését, akár a tetőkön, a felszín felett, a felszínen, a talajban, a felszíni szivárgókban vagy a föld alatti tárolókban és szivárgókban.
- Párolgó felületek kialakítása: A párolgás/párologtatás történhet passzív megoldásokkal, mint locsolás, csorgók, tetőkádak stb., de előnyösebb az aktív, növényzet segítségével történő párologtatás, például esőkertek, zöld falak, föld tetők, lugasok, ligetek segítségével, amelyek aktív árnyékot is adnak.
- A működtetés megszervezése: a vízmegtartó, -ellátó rendszerek és a párolgó, párologtató megoldások időszakos gondozást igényelnek, ezért segíteni és támogatni kell a lakosságot, a lakóközösségeket, a hivatalokat, az üzleteket, a vállalatokat képzésükkel, hogy a feladatot el tudják látni.
- Rendszeresítés szemléletformáló programok és oktatás segítségével: továbbképzések, mintaprogramok, önképző körök, alapoktatásba történő beépítés, kutatások.
- A jelenlegi felől egy hosszú távon is élhető feltételeket biztosító, városi felszínhasználat felé mozdító, ösztönzést és kényszerítést is magában foglaló jogszabályi környezet megalkotása.

A fenntarthatóságához a vízkör kiegyensúlyozott „működése” elengedhetetlen, az szabályozza és tartja a felszíni hőmérsékletet az ember számára élhető és elfogadható tartományban.

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a REKK Regionális Energia és Infrastruktúra-politikai Együttműködésért Alapítvány támogatásával jött létre.

Irodalom

- Almási B., Csizmadia D. 2016: Zöldinfrastruktúra Füzetek 1.: Vízáteresztő burkolatok. Budapesti Fővárosi Főpolgármesteri Hivatal, Budapest. p. 11.
- Bartholy J., Mészáros R., Geresdi I., Matyasovszky I., Pongrácz R., Weidinger T. 2013: Meteorológiai alapismeretek. ELTE Természettudományi Kar, Budapest. p. 259.
- Báder L. 2020: „Táji hőszigetek” és hatásuk az éghajlati energia- és vízmérlegre. Tájökológiai Lapok 18(2): 87–96.
- Bíró T. (szerk.) 2019: Országos települési csapadékvíz-gazdálkodási konferencia – Tanulmányai. Dialóg Campus Kiadó, Budapest. p. 308.
- Csizmadia D. 2018: Zöldinfrastruktúra Füzetek 3.: Vízérzékeny tervezés a városi szabadtereken. Budapesti Fővárosi Főpolgármesteri Hivatal, Budapest. p. 90.
- Eiseltová, M., Pokorný, J., Hesslerová, P., Ripl, W., 2012: Evapotranspiration – A driving force in landscape sustainability. In: Irmak, A. (ed.): Evapotranspiration - Remote sensing and modeling, Intech, Rijeka, Croatia. pp. 305–328. DOI: [10.5772/19441](https://doi.org/10.5772/19441)
- Gribovszki Z. 2004: Evapotranspiráció hatása a lefolyás napi ritmusára erdőszült kisvízgyűjtőkön. In: Mátyás Cs., Vígh P. (szerk.): Erdő és Klíma IV. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron. pp. 171–183.
- Gyulai M. G. 2016: Budapesti városi hősziget-hatás termovíziós vizsgálata. TDK dolgozat. BME Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, Budapest. p. 41. <https://tdk.bme.hu/EMK/DownloadPaper/Budapesti-varosi-hoszizethatas-termovizios>
- Hurina, H., Pokorný, J. 2016: The role of water and vegetation in the distribution of solar energy and local climate: a review. Folia Geobotanica 51: 191–208. DOI [10.1007/s12224-016-9261-0](https://doi.org/10.1007/s12224-016-9261-0)
- L’Ecuyer, T., Beaudoin, H.K., Rodell, M., Olson, W., Lin, B., Kato, S., Clayson, C.A., Wood, E., Sheffield, J., Adler, R., Huffman, G., Bosilovich, M., Gu, G., Robertson, F., Houser, P.R., Chambers, D., Famiglietti, J.S., Fetzer, E., Liu, W.T., Gao, X., Schlosser, C.A., Clark, E., Lettenmaier, D.P., Hilburn, K. 2015: The observed state of the energy budget in the early twenty-first century. Journal of Climate 28(21): 8319–8346. DOI: [10.1175/JCLI-D-14-00556.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00556.1)
- Pokorný, J., Hesslerová, P., Hurina, H., Harper, D., 2016: Indirect and direct thermodynamic effects of wetland ecosystems on climate. In Vymazdal, J. (ed.): Natural and constructed wetlands. Springer, Cham. pp.91–108. DOI: [10.1007/978-3-319-38927-1_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38927-1_7)
- Unger J., Gál T. 2017: A városi hősziget jelenségköre és modellezési lehetőségei. 43. Meteorológiai Tudományos Napok, 2017. november 23-24., ppt előadás. p. 24. http://acta.bibl.u-szeged.hu/43749/1/ft_001_091-098.pdf
- Unger J., Sümegehy Z. 2012: Környezeti klimatológia. JATEPress, Szeged. p. 222.
- Ungvári, G., Kis, A. 2019: A macroeconomics-inspired interpretation of the terrestrial water cycle. WIREs Water 2019(6): e1380. DOI: [10.1002/wat2.1380](https://doi.org/10.1002/wat2.1380)

Internetes hivatkozások

- http1: https://www.ksh.hu/stadat_files/nep/hu/nep0037.html (KSH 2020)
- http2: <https://masfelfok.hu/2021/08/24/mar-majusban-40-celsius-fok-lehet-budapest-belvarosaban-a-felszini-homerseklet/> (Pongrácz R. 2021)
- http3: http://www.eltereader.hu/media/2014/05/Meteorologiai_alapismeretek_READER.pdf (Bartholy et al. 2013)
- http4: <https://www.muszeroldal.hu/assistance/hotani.htm>
- http5: [http://www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx_\(Paksi Atomerómű 2020\):](http://www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx_(Paksi Atomerómű 2020):)
- http6: [https://budapest.hu/Documents/varosfejlesztési_koncepcio_bp2030/Budapest_2030_varosfejlesztési_koncepcio.pdf_\(2011 I. kötet\)](https://budapest.hu/Documents/varosfejlesztési_koncepcio_bp2030/Budapest_2030_varosfejlesztési_koncepcio.pdf_(2011_I_kötet))
- http7: <https://yceo.users.earthengine.app/view/uhimap> (Earth Engine Apps)

- http8: <https://epiteszforum.hu/hogyan-vedekezunk-a-klimavaltozas-okozta-fokozodo-hosziget-hatas-ellen> (Kamondy T. 2019)
- http9: https://odp.met.hu/climate/observations_hungary (OMSZ 2021)
- http10: http://ttktamop.elte.hu/online-tananyagok/alkalmazott_es_varosklimatologia (Pongrácz R., Bartholy J. 2013): Alkalmazott és városklimatológia
- http10: http://kotivizig.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=1091:negativ-rekord-koezeleben-a-tisza&catid=44:hidrometeorologiai-elemzesek&Itemid=65 (Kötivizig, 2015)
- http11: [https://www.vizugy.hu/?mapModule=OpGrafikon&AllomasVOA=16496059-97AB-11D4-BB62-00508BA24287&mapData=Idosor_\(OVF,2022\)](https://www.vizugy.hu/?mapModule=OpGrafikon&AllomasVOA=16496059-97AB-11D4-BB62-00508BA24287&mapData=Idosor_(OVF,2022))

MITIGATING URBAN HEAT ISLAND EFFECTS WITH INCREASED EVAPORATION

László BÁDER¹, Gábor UNGVÁRI²

¹Budapesti University of Technology and Economics, Faculty of Civil Engineering
Building K, ground floor 12, Műegyetem rkp. 3. H-1111 Budapest, Hungary,
e-mail: laszlo.bader@edu.bme.hu

²Corvinus University of Budapest, Regional Centre for Energy Policy Research
Fővám tér 8. room 117.1, H-1093 Budapest, Hungary, e-mail: gabor.ungvari@uni-corvinus.hu

KEYWORDS: urban heat island, climatic energy balance, evaporation, evapotranspiration, active shade, passive shade, hydrological cycle

Heat stress of the natural environment as well as of the urban environment is increasing with climate change and global warming. The urban heat island effect is emerging in densely built up areas. We are approaching the problem of heat islands by focusing on the root causes and dealing less with the consequences. The significant role of the heat properties is at the center of our attention: the warming up of water and concrete surfaces with the same amount of energy. Concrete surfaces get 5 times warmer within heat islands. Even more important is the evaporation of water. The process requires twice as much energy in the transformation. Analysing a precipitation event in summer we demonstrate the outstanding heat properties of water and its irreplaceable role in the energy distribution process. We suggest to refine terminology and introduce terms 'passive shielding' (where we cast a shadow e.g. by a canvas) and 'active shielding' differentiating a case where vegetation provides the shade accompanied by evapotranspiration with cooling effect. These terms can help to promote the importance of green walls and roofs, arbors, parks, and contribute to increase the size of green areas. The objective of this paper is to call attention to the need of a balanced hydrological cycle, as well as to our responsibility to preserve or restore its smooth operation. It is a prerequisite for sustainability both in urban and in rural areas alike.